

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-206446

(43)Date of publication of application : 28.07.2000

(51)Int.Cl.

G02B 27/02

G02B 17/08

H04N 5/64

(21)Application number : 11-003729

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 11.01.1999

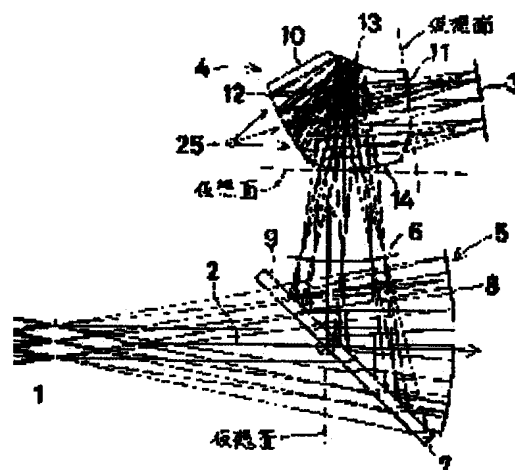
(72)Inventor : TAKEYAMA TETSUEI

## (54) IMAGE DISPLAY DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an image display device where an optical system is made more compact, and a wide viewing angle is realized, while keeping the power of the concave mirror part of an ocular optical system small by making the magnification ratio of an intermediate image in a relay optical system large.

**SOLUTION:** An observation optical system is provided with an image source side reflection surface 12, having eccentric a curved surface shape to give power to luminous flux emitted from an image display element 3 at its reflection and also having rotationally asymmetric surface shape for compensating eccentric aberration caused by the reflection of the eccentric curved surface, a semi-transmitting reflection surface 9 transmitting or reflecting the luminous flux reflected on the surface 12, and a concave reflection curved surface 8 forming a reflecting optical path between the surface 9 and the surface 8 and turning a concave surface to the surface 9 side. It forms an intermediate image 6 obtained by enlarging the image on the display element 3 between the surface 12 and 9.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-206446  
(P2000-206446A)

(43) 公開日 平成12年7月28日 (2000.7.28)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 B 27/02		G 0 2 B 27/02	Z 2 H 0 8 7
17/08		17/08	Z 9 A 0 0 1
H 0 4 N 5/64	5 1 1	H 0 4 N 5/64	5 1 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願平11-3729

(22) 出願日 平成11年1月11日 (1999.1.11)

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社  
東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目43番 2 号

(72) 発明者 武山哲英

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目43番 2 号オリン  
パス光学工業株式会社内

(74) 代理人 100097777

弁理士 荏澤 弘 (外 7 名)

F ターム (参考) 2H087 KA14 LA12 TA01 TA02 TA05

TA06

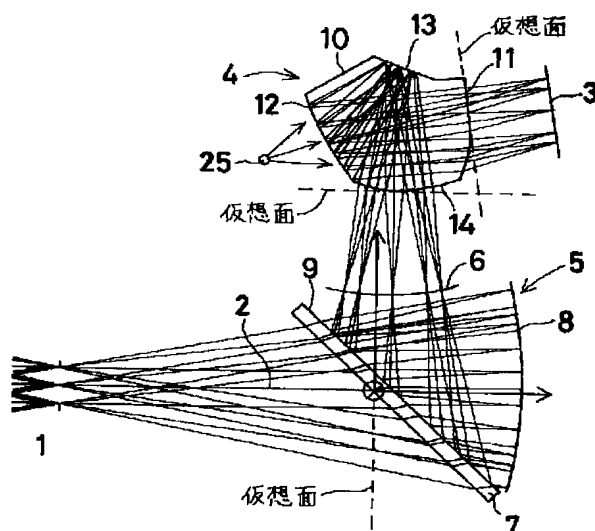
9A001 BB06 GG01 KK16

(54) 【発明の名称】 画像表示装置

(57) 【要約】

【課題】 光学系をさらにコンパクト化すると共に、リレー光学系での中間像拡大率を大きくして接眼光学系の凹面鏡部分のパワーを小さく保ったまま広画角を実現した画像表示装置。

【解決手段】 観察光学系が、画像表示素子 3 から射出された光束に反射時にパワーを与える偏心曲面形状を有し、かつ、偏心曲面の反射によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有した像源側反射面 1 2 と、像源側反射面 1 2 を反射した光束を透過又は反射する半透過反射面 9 と、半透過反射面 9 との間に折り返し光路を形成し半透過反射面 9 側に凹面を向けた形状の凹反射曲面 8 とを備え、像源側反射面 1 2 と半透過反射面 9 との間に画像表示素子 3 の像を拡大した中間像 6 を形成するように構成されている。



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-206446

(P2000-206446A)

(43) 公開日 平成12年7月28日 (2000.7.28)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テームコード\* (参考)

G 0 2 B 27/02

G 0 2 B 27/02

Z 2 H 0 8 7

17/08

17/08

Z 9 A 0 0 1

H 0 4 N 5/64

5 1 1

H 0 4 N 5/64

5 1 1 A

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号

特願平11-3729

(22) 出願日

平成11年1月11日 (1999.1.11)

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 武山哲英

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン

パス光学工業株式会社内

(74) 代理人 100097777

弁理士 並澤 弘 (外7名)

Fターム(参考) 2H087 KA14 LA12 TA01 TA02 TA05

TA06

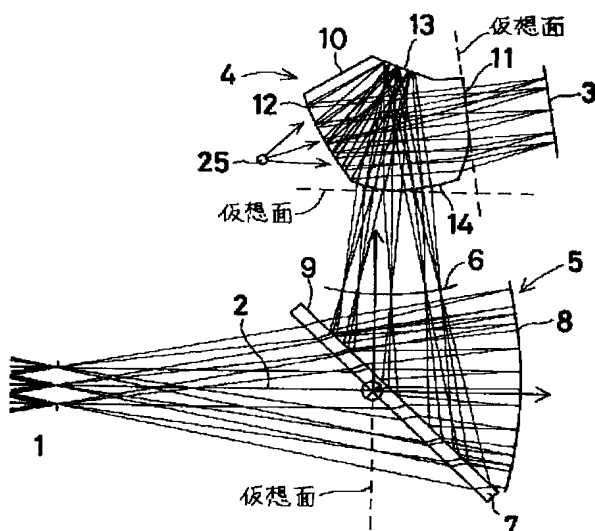
9A001 BB06 GG01 KK16

(54) 【発明の名称】 画像表示装置

(57) 【要約】

【課題】 光学系をさらにコンパクト化すると共に、リレー光学系での中間像拡大率を大きくして接眼光学系の凹面鏡部分のパワーを小さく保ったまま広画角を実現した画像表示装置。

【解決手段】 観察光学系が、画像表示素子3から射出された光束に反射時にパワーを与える偏心曲面形状を有し、かつ、偏心曲面の反射によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有した像源側反射面12と、像源側反射面12を反射した光束を透過又は反射する半透過反射面9と、半透過反射面9との間に折り返し光路を形成し半透過反射面9側に凹面に向けた形状の凹反射曲面8とを備え、像源側反射面12と半透過反射面9との間に画像表示素子3の像を拡大した中間像6を形成するように構成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 画像表示素子と、前記画像表示素子により形成された画像を観察者眼球位置に導く観察光学系とを有する画像表示装置において、

前記観察光学系が、少なくとも、前記画像表示素子から射出された光束に反射時にパワーを与える偏心曲面形状を有し、かつ、前記偏心曲面の反射によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有した像源側反射面と、前記像源側反射面を反射した光束を透過又は反射するハーフミラーコーティングされた半透過反射面と、前記半透過反射面との間に折り返し光路を形成し前記半透過反射面側に凹面を向けた形状の凹反射曲面とを備え、前記像源側反射面と前記半透過反射面との間に前記画像表示素子の像を拡大した中間像を形成するように構成されていることを特徴とする画像表示装置。

【請求項 2】 前記観察光学系が、屈折率が 1 よりも大きい媒質を挟んだ第 1 面と第 2 面の少なくとも 2 つの面を有し、前記第 1 面が前記画像表示素子から射出された光束を前記媒質内に入射させる入射面にて構成され、前記第 2 面が前記像源側反射面として構成され、かつ、前記第 1 面と前記第 2 面とが前記中間像と前記画像表示素子との間に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の画像表示装置。

【請求項 3】 前記観察光学系が、前記第 1 面と前記第 2 面と共に前記屈折率が 1 よりも大きい媒質を挟んだ第 3 面を有し、前記第 3 面が少なくとも反射時に光束にパワーを与える曲面形状であって偏心収差を補正する回転非対称な面形状を有した反射面にて構成され、かつ、前記第 3 面が前記第 1 面と前記半透過反射面との間の光路上に配置されていることを特徴とする請求項 2 記載の画像表示装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、画像表示装置に関し、特に、観察者の頭部又は顔面に保持することを可能にする頭部又は顔面装着式画像表示装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、個人が大画面の画像を楽しむことを目的として、画像表示装置が、特にその中でも頭部又は顔面装着式画像表示装置の開発が盛んになされている。

【0003】従来、頭部装着式画像表示装置として、液晶表示装置（LCD）、CRT等の画像表示素子上の画像をリレー光学系により 1 度空中に結像し、更に半透過鏡と凹面鏡からなる接眼光学系により観察者の眼球に導くものが知られている（特開平 3-39925 号、特開平 7-151993 号等）。また、画像表示素子上の画像を半透過鏡と凹面鏡からなる光学系により 1 度空中に結像し、通常の接眼光学系により観察者の眼球に導くものも知られている（特表平 10-504115 号）。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上記のようなリレー光学系を用いて 1 次像を結像し、半透過鏡と凹面鏡からなる接眼光学系でその 1 次像を眼球に導く光学系を備えた画像表示装置においては、リレー光学系を備えていない画像表示装置に比べて、以下の点で優れている。

①接眼光学系で発生する収差をリレー光学系で補正することができる。

②リレー光学系により小さな LCD を中間結像面に大きく拡大することで、見かけ上大きな LCD パネルを半透過鏡と凹面鏡からなる接眼光学系に用いたものと等価になる。これにより、小さな LCD を用いても広い観察画角を得ることができる。リレー光学系を用いないで、半透過鏡と凹面鏡からなる接眼光学系だけで画像表示装置を構成しようとする、広い観察画角を達成するためには、凹面鏡の焦点距離を短くして倍率を上げる必要があるが、凹面鏡のパワーを強くしすぎと収差を悪化させる。

【0005】ところで、偏心光学系を用いて画像表示装置の光学系を高い光学性能（明るさ、画角、解像力等）を維持したまま小型軽量化できることが、特開平 7-333551 号、特開平 8-234137 号等において提案されている。

【0006】本発明は従来技術のこのような状況に鑑みてなされたものであり、その目的は、画像表示素子の中間像を形成するリレー光学系と半透過鏡と凹面鏡からなる接眼光学系とからなる画像表示装置において、リレー光学系部分に偏心光学系を用いて光路を折り曲げることで、光学系をさらにコンパクト化すると共に、リレー光学系での中間像拡大率を大きくして接眼光学系の凹面鏡部分のパワーを小さく保ったまま広画角を実現することである。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成する本発明の画像表示装置は、画像表示素子と、前記画像表示素子により形成された画像を観察者眼球位置に導く観察光学系とを有する画像表示装置において、前記観察光学系が、少なくとも、前記画像表示素子から射出された光束に反射時にパワーを与える偏心曲面形状を有し、かつ、前記偏心曲面の反射によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有した像源側反射面と、前記像源側反射面を反射した光束を透過又は反射するハーフミラーコーティングされた半透過反射面と、前記半透過反射面との間に折り返し光路を形成し前記半透過反射面側に凹面を向けた形状の凹反射曲面とを備え、前記像源側反射面と前記半透過反射面との間に前記画像表示素子の像を拡大した中間像を形成するように構成されていることを特徴とするものである。

【0008】この場合に、観察光学系が、屈折率が 1 よりも大きい媒質を挟んだ第 1 面と第 2 面の少なくとも 2 つの面を有し、前記第 1 面が前記画像表示素子から射出された光束を前記媒質内に入射させる入射面にて構成され、前記第 2 面が前記像源側反射面として構成され、かつ、前記第 1 面と前記第 2 面とが前記中間像と前記画像表示素子との間に配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の画像表示装置。

【0009】前記観察光学系が、屈折率が 1 よりも大きい媒質を挟んだ第 1 面と第 2 面と共に前記屈折率が 1 よりも大きい媒質を挟んだ第 3 面を有し、前記第 3 面が少なくとも反射時に光束にパワーを与える曲面形状であって偏心収差を補正する回転非対称な面形状を有した反射面にて構成され、かつ、前記第 3 面が前記第 1 面と前記半透過反射面との間の光路上に配置されていることを特徴とする請求項 2 記載の画像表示装置。

りも大きい媒質を挟んだ第1面と第2面の少なくとも2つの面を有し、第1面が画像表示素子から射出された光束をその媒質内に入射させる入射面にて構成され、第2面が像源側反射面として構成され、かつ、第1面と第2面とが中間像と画像表示素子との間に配置されているものとする事ができる。

【0009】そして、その場合に観察光学系が、第1面と第2面と共にその屈折率が1よりも大きい媒質を挟んだ第3面を有し、第3面が少なくとも反射時に光束にパワーを与える曲面形状であって偏心収差を補正する回転非対称な面形状を有した反射面にて構成され、かつ、第3面が第1面と半透過反射面との間の光路上に配置されているものとする事ができる。

【0010】以下、本発明において上記の構成をとる理由と作用について説明する。本発明においては、画像表示素子と、その画像表示素子により形成された画像を観察者眼球位置に導く観察光学系とを有する画像表示装置において、その観察光学系が、少なくとも、画像表示素子から射出された光束に反射時にパワーを与える偏心曲面形状を有し、かつ、その偏心曲面の反射によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有した像源側反射面と、その像源側反射面を反射した光束を透過又は反射するハーフミラーコーティングされた半透過反射面と、その半透過反射面との間に折り返し光路を形成し半透過反射面側に凹面を向けた形状の凹反射曲面とを備え、像源側反射面と半透過反射面との間に画像表示素子の像を拡大した中間像を形成するように構成されており、中間像を形成するリレー光学系部分が少なくとも像源側反射面を備えているので、光路を折り曲げることで構成することができ、リレー光学系を従来の軸対称な光学系を用いる場合に比較してさらにコンパクト化することができる。また、リレー光学系で中間像を収差補正をして拡大させるので、半透過反射面と凹反射曲面とからなる接眼光学系の凹反射曲面のパワーを小さく保ったまま広画角を実現することができるものである。また、リレー光学系に含まれる像源側反射面が、偏心曲面形状を有しかつその偏心曲面の反射によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有しているので、リレー光学系に偏心光学系を用いても収差補正が十分可能になる。

【0011】そして、リレー光学系として、屈折率が1よりも大きい媒質を挟んだ第1面と第2面の少なくとも2つの面を有し、第1面が前記画像表示素子から射出された光束を前記媒質内に入射させる入射面にて構成され、第2面が像源側反射面として構成され、かつ、第1面と第2面とが中間像と画像表示素子との間に配置されているようにすると、リレー光学系をよりコンパクト化できると共に、リレー光学系の収差補正をより確実に行うことができる。

【0012】ここで、リレー光学系をこのような偏心光

学系、特に、内部反射の偏心プリズムで構成することのメリットについて説明する。レンズのような屈折光学素子は、その境界面に曲率を付けることにより始めてパワーを持たせることができる。そのため、レンズの境界面で光線が屈折する際に、屈折光学素子の色分散特性による色収差の発生が避けられない。その結果、色収差を補正する目的で別の屈折光学素子が付加されるのが一般的である。

【0013】一方、ミラーやプリズム等のような反射光学素子は、その反射面にパワーを持たせても原理的に色収差の発生はなく、色収差を補正する目的だけのために別の光学素子を付加する必要はない。そのため、反射光学素子を用いた光学系は、屈折光学素子を用いた光学系に比べて、色収差補正の観点から光学素子の構成枚数の削減が可能である。

【0014】同時に、反射光学素子を用いた反射光学系は、光路を折り畳むことになるために、屈折光学系に比べて光学系自身を小さくすることが可能である。

【0015】また、反射面は屈折面に比して偏心誤差感度が高いため、組み立て調整に高い精度を要求される。しかし、反射光学素子の中でも、プリズムはそれぞれの面の相対的な位置関係が固定されているので、プリズム単体として偏心を制御すればよく、必要以上の組み立て精度、調整工数が不要である。

【0016】さらに、プリズムは、屈折面である入射面と射出面、それと反射面を有しており、反射面しかもたないミラーに比べて、収差補正の自由度が大きい。特に、反射面に所望のパワーの大部分を分担させ、屈折面である入射面と射出面のパワーを小さくすることで、ミラーに比べて収差補正の自由度を大きく保ったまま、レンズ等のような屈折光学素子に比べて、色収差の発生を非常に小さくすることが可能である。また、プリズム内部は空気よりも屈折率の高い透明体で満たされているために、空気に比べ光路長を長くとることができ、空気中に配置されるレンズやミラー等よりは、光学系の薄型化、小型化が可能である。

【0017】また、観察光学系は、中心性能はもちろんのこと周辺まで良好な結像性能を要求される。そこで、本発明では、上記のように、観察光学系を構成するリレー光学系に1個のプリズムを用いて、少なくとも、画像表示素子から射出された像光をプリズム内に入射させる第1面と、その第1面から入射した光束を反射させる第2面とで構成し、少なくともその反射面に光束に光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する回転非対称な曲面形状に構成して、中心ばかりでなく軸外収差も良好に補正することを可能にしている。

【0018】このような基本構成をとることで、屈折光学系あるいは回転対称なリレー光学系を用いた光学系に比べて光学素子の構成枚数が少なく、中心から周辺まで性能の良好な、小型の画像表示装置を得ることが可能と

10

20

30

40

50

なる。

【0019】ここで、逆光線追跡で、瞳中心を通過して画像表示素子の表示面の中心に到達する光線を軸上主光線としたとき、プリズムの少なくとも1つの反射面が軸上主光線に対して偏心していないと、軸上主光線の入射光線と反射光線が同一の光路をとることとなり、軸上主光線が光学系中で遮断されてしまう。その結果、中心部が遮光された光束のみで像を形成することになり、中心が暗くなったり、中心では全く像を結ばなくなったりしてしまう。

【0020】また、パワーを付けた反射面を軸上主光線に対し偏心させることも当然可能である。上記したように、本発明においては、リレー光学系を構成する像源側反射面の面形状として、光束に光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する回転非対称な曲面形状に構成している。このような面形状は偏心収差を補正する上で好ましい。その理由を以下に詳述する。まず、用いる座標系、回転非対称な面について説明する。軸上主光線が、光学系の第1面に交差するまでの直線によって定義される光軸をZ軸とし、そのZ軸と直交し、かつ、撮像光学系を構成する各面の偏心面内の軸をY軸と定義し、前記光軸と直交し、かつ、前記Y軸と直交する軸をX軸とする。光線の追跡方向は、上記のように瞳から画像表示素子に向かう逆光線追跡で説明する。

【0021】一般に、球面レンズでのみ構成された球面レンズ系では、球面により発生する球面収差と、コマ収差、像面湾曲等の収差をいくつかの面でお互いに補正しあい、全体として収差を少なくする構成になっている。

【0022】一方、少ない面数で収差を良好に補正するためには、回転対称非球面等が用いられる。これは、球面で発生する各種収差自体を少なくするためである。しかし、偏心した光学系においては、偏心により発生する回転非対称な収差を回転対称光学系で補正することは不可能である。この偏心により発生する回転非対称な収差は、歪曲収差、像面湾曲、さらに、軸上でも発生する非点収差、コマ収差がある。

【0023】まず、回転非対称な像面湾曲について説明する。例えば、無限遠の物点から偏心した凹面鏡に入射した光線は、凹面鏡に当たって反射結像されるが、光線が凹面鏡に当たって以降、像面までの後側焦点距離は、像界側が空気の場合、光線が当たった部分の曲率半径の半分になる。すると、図16に示すように、軸上主光線\*

\*に対して傾いた像面を形成する。このように、回転非対称な像面湾曲を補正するには回転対称な光学系では不可能である。

【0024】この傾いた像面湾曲をその発生源である凹面鏡M自身で補正するには、凹面鏡Mを回転非対称な面で構成し、この例ではY軸正の方向に対して曲率を強く（屈折力を強く）し、Y軸負の方向に対して曲率を弱く（屈折力を弱く）すれば、補正することができる。また、上記構成と同様な効果を持つ回転非対称な面を、凹面鏡Mとは別に光学系中に配置することにより、少ない構成枚数でフラットの像面を得ることが可能となる。また、回転非対称な面は、その面内及び面外共に回転対称軸を有しない回転非対称面形状の面とすることが、自由度が増え収差補正上は好ましい。

【0025】次に、回転非対称な非点収差について説明する。上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは、軸上光線に対しても図17に示すような非点収差が発生する。この非点収差を補正するためには、上記説明と同様に、回転非対称面のX軸方向の曲率とY軸方向の曲率を適切に変えることによって可能となる。

【0026】さらに、回転非対称なコマ収差について説明する。上記説明と同様に、偏心して配置された凹面鏡Mでは、軸上光線に対しても図18に示すようなコマ収差が発生する。このコマ収差を補正するためには、回転非対称面のX軸の原点から離れるに従って面の傾きを変えると共に、Y軸の正負によって面の傾きを適切に変えることによって可能となる。

【0027】また、本発明の結像光学系では、前述の反射作用を有する少なくとも1つの面が軸上主光線に対し偏心し、回転非対称な面形状でパワーを有する構成も可能である。このような構成をとれば、その反射面にパワーを持たせることで発生する偏心収差をその面自体で補正することが可能となり、プリズムの屈折面のパワーを緩めることで、色収差の発生自体を小さくすることができる。

【0028】また、本発明で用いる上記の回転非対称面は、対称面を1面のみ有する面对称自由曲面であることが好ましい。ここで、本発明で使用する自由曲面とは、以下の式(a)で定義されるものである。なお、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0029】

$$Z = c r^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+k) c^2 r^2}] + \sum_{i=2}^{\infty} C_i X^i Y^i \quad \dots (a)$$

ここで、(a)式の第1項は球面項、第2項は自由曲面項である。

【0030】球面項中、

c：頂点の曲率

k：コーニック定数（円錐定数）

$r = \sqrt{X^2 + Y^2}$

である。

50 【0031】自由曲面項は、

$$\begin{aligned}
& \sum_{i=2}^{\infty} C_i X^i Y^i \\
&= C_2 X + C_3 Y \\
&+ C_4 X^2 + C_5 XY + C_6 Y^2 \\
&+ C_7 X^3 + C_8 X^2 Y + C_9 XY^2 + C_{10} Y^3 \\
&+ C_{11} X^4 + C_{12} X^3 Y + C_{13} X^2 Y^2 + C_{14} XY^3 + C_{15} Y^4 \\
&+ C_{16} X^5 + C_{17} X^4 Y + C_{18} X^3 Y^2 + C_{19} X^2 Y^3 + C_{20} XY^4 \\
&\quad + C_{21} Y^5 \\
&+ C_{22} X^6 + C_{23} X^5 Y + C_{24} X^4 Y^2 + C_{25} X^3 Y^3 + C_{26} X^2 Y^4 \\
&\quad + C_{27} XY^5 + C_{28} Y^6 \\
&+ C_{29} X^7 + C_{30} X^6 Y + C_{31} X^5 Y^2 + C_{32} X^4 Y^3 + C_{33} X^3 Y^4 \\
&\quad + C_{34} X^2 Y^5 + C_{35} XY^6 + C_{36} Y^7 \\
&\quad \dots
\end{aligned}$$

ただし、 $C_j$  ( $j$  は 2 以上の整数) は係数である。

【0032】上記自由曲面は、一般的には、 $X-Z$  面、 $Y-Z$  面共に対称面を持つことはないが、本発明では  $X$  の奇数次項を全て 0 にすることによって、 $Y-Z$  面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式 (a) においては、 $C_2$ 、 $C_5$ 、 $C_7$ 、 $C_9$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{14}$ 、 $C_{16}$ 、 $C_{18}$ 、 $C_{20}$ 、 $C_{23}$ 、 $C_{25}$ 、 $C_{27}$ 、 $C_{29}$ 、 $C_{31}$ 、 $C_{33}$ 、 $C_{35}$ ・・・の各項の係数を 0 にすることによって可能である。

【0033】また、 $Y$  の奇数次項を全て 0 にすることによって、 $X-Z$  面と平行な対称面が 1 つだけ存在する自由曲面となる。例えば、上記定義式においては、 $C_3$ 、 $C_5$ 、 $C_8$ 、 $C_{10}$ 、 $C_{12}$ 、 $C_{14}$ 、 $C_{17}$ 、 $C_{19}$ 、 $C_{21}$ 、 $C_{23}$ 、 $C_{25}$ 、 $C_{27}$ 、 $C_{30}$ 、 $C_{32}$ 、 $C_{34}$ 、 $C_{36}$ ・・・の各項の係数を 0 にすることによって可能である。

【0034】また上記対称面の方向の何れか一方を対称面とし、それに対応する方向の偏心、例えば、 $Y-Z$  面と平行な対称面に対して光学系の偏心方向は  $Y$  軸方向に、 $X-Z$  面と平行な対称面に対しては光学系の偏心方向は  $X$  軸方向にすることで、偏心により発生する回転非対称な収差を効果的に補正しながら同時に製作性をも向上させることが可能となる。

【0035】また、上記定義式 (a) は、前述のように 1 つの例として示したものであり、本発明は、対称面を 1 面のみ有する回転非対称面を用いることで偏心により発生する回転非対称な収差を補正し、同時に製作性も向上させるということが特徴であり、他のいかなる定義式に対しても同じ効果が得られることは言うまでもない。

【0036】上記のように、リレー光学系を入射面の第 1 面と像源側反射面としての第 2 面を含むプリズムで構成する場合に、第 1 面の面形状を、第 2 面で発生する偏心収差の補正を助ける作用を持った回転非対称な曲面形状にて構成することがより望ましい。

【0037】また、リレー光学系を偏心プリズムで構成する場合に、少なくとも第 1 面～第 3 面の 3 つの面でプリズムを構成し、第 1 面を画像表示素子から射出された

光束を媒質内に入射させる入射面にて構成し、第 2 面をその第 1 面から入射した光束を反射させる反射面で構成し、第 3 面をその第 2 面から反射した光束を反射させる反射面で構成し、第 2 面、第 3 面共に光束に光学的パワーを与えかつ偏心収差を補正する回転非対称な曲面形状にて構成することが収差補正上より望ましい。

【0038】また、観察光学系の接眼光学系部分の構成としては、画像表示素子からの光束を半透過反射面を透過させ、その後に凹反射曲面によって反射させ、その後半透過反射面によって光束を反射させるように構成することもできるし、画像表示素子からの光束を半透過反射面で反射させ、その後に凹反射曲面によって反射させ、その後半透過反射面によって光束を透過させるように構成することもできる。

【0039】また、接眼光学系部分の凹反射曲面が観察光学系全体で発生する偏心収差を補正する作用を持った回転非対称な曲面形状にて構成することもできる。このように構成すると、より一層良好な収差補正が可能になる。

【0040】また、画像表示素子からの光束を半透過反射面で反射させ、その後に凹反射曲面によって反射させ、その後半透過反射面によって光束を透過させるように構成する場合に、その凹反射曲面を画像表示素子からの光束を反射すると共に、外界光を入射させる反射作用と透過作用とを兼用する面にて構成することができる。このように構成すると、画像表示素子の表示画像の拡大観察と共に、選択的にあるいはそれと重畳して外界を観察することができる。

【0041】その場合に、凹反射曲面が、屈折率が 1 よりも大きい媒質を挟んだ略平行な 2 つの凹曲面間の薄肉部材にて構成され、外界光が凹反射曲面を介して入射する際に発生する収差を補正するように構成することが望ましい。

【0042】また、その場合に、凹反射曲面の 2 つの凹曲面間の薄肉部材の厚さは、0.1 mm～6.0 mm の範囲内にて構成することが望ましい。その厚さが 0.1

mmを越えると、薄すぎるため量産性が低下すると共に、シースルー機能実現のためにハーフミラーコーティングする場合等に破損しやすくなり好ましくない。また、6.0mmを越えると、厚くなりすぎ重量が増加してしまい好ましくない。

【0043】また、これらの場合に、凹反射曲面を通過する光束に加えられる歪曲収差発生量が、有効面内における中心から1/3の径の領域において10%（望ましくは5%）の範囲内となるように、凹反射曲面の2つの凹曲面の形状を構成することが望ましい。その歪曲収差発生量が10%を越えてしまうと、外界観察において観察者に不快な印象を与えてしまい望ましくない。なお、好ましくは5%の範囲内に収めるように構成することであり、外界をより美しく観察可能となる。

【0044】また、本発明の観察光学系は、少なくとも第1面と第2面とを含んだ第1プリズムと、第1プリズムとは別体に配置された半透過反射面と、第1プリズムと半透過反射面と別体に配置された凹反射曲面とを有するように構成することができる。

【0045】また、観察光学系は、少なくとも第1面と第2面とを含んだ第1プリズムと、半透過反射面と凹反射曲面とを少なくとも有する第2プリズムとを有するように構成することができる。

【0046】また、観察光学系は、少なくとも第1面と第2面と半透過反射面と凹反射曲面とを含んだプリズムにて構成することができる。

【0047】また、半透過反射面は平面形状にて構成することが望ましい。もちろん、他の曲面形状に構成してもよい。

【0048】また、本発明の観察光学系の有する少なくとも1面の回転非対称な曲面を、対称面を1面のみ有する面对称自由曲面形状にて構成することが望ましい。

【0049】なお、本発明の画像表示装置は、観察光学系と、その観察光学系の光束を観察者眼球に導くために観察光学系を観察者頭部に保持できるように形成された支持部材とを有するように構成するのが実質的である。

【0050】さて、リレー光学系部分を、後記の数値実施例のように、画像表示素子から射出された像光をプリズム内に入射させる第1面と、その第1面から入射した光束を反射させる第2面と、その第2面から反射された光束を反射させる第3面とを有し、第1面と第2面とを結ぶ光路と第3面からの反射光路とがプリズム内で交差するように構成され、半透過反射面と凹反射曲面とから独立した偏心プリズムで構成する場合（実施例1～

$$\begin{aligned} & -2.0 < P_{xS3} / P_x < 3.5 \\ & -2.5 < P_{yS3} / P_y < 3.5 \end{aligned}$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。

【0054】この条件式は、光学系全系におけるS3面でのパワーを規定する条件である。これらの条件式の下

\* 3)、及び、半透過反射面と凹反射曲面とを含んだ1個の偏心プリズム（実施例4）で構成する場合、コンパクトにリレー光学系部分を構成できる特徴がある。また、このようなプリズム構成においては、入射瞳位置がプリズムの内部に位置しているので、プリズムの面のパワーを瞳位置に対して略対称的に配置することで、収差補正を良好に行うことができる。

【0051】さて、ここで本発明のような偏心光学系及び光学面のパワーを定義する。図19に示すように、偏心光学系Sの偏心方向をY軸方向に取った場合に、偏心光学系Sの軸上主光線と平行なY-Z面内の微小な高さdの光線を物体側（本発明の場合は、射出瞳側から逆光線追跡で）から入射し、偏心光学系Sから射出したその光線と軸上主光線のY-Z面に投影したときのなす角を $\delta y$ とし、 $\delta y/d$ をY方向の偏心光学系Sのパワー $P_y$ 、偏心光学系の軸上主光線と平行でY-Z面と直交するX方向の微小な高さdの光線を物体側から入射し、偏心光学系Sから射出したその光線と軸上主光線のY-Z面に直交する面であって軸上主光線を含む面に投影したときのなす角を $\delta x$ とし、 $\delta x/d$ をX方向の偏心光学系Sのパワー $P_x$ とする。同様に偏心光学系Sを構成する偏心光学面nのY方向のパワー $P_{yn}$ 、X方向のパワー $P_{xn}$ が定義される。

【0052】さらに、これらのパワーの逆数がそれぞれ偏心光学系のY方向の焦点距離 $F_y$ 、偏心光学系のX方向の焦点距離 $F_x$ 、偏心光学面nのY方向の焦点距離 $F_{yn}$ 、X方向の焦点距離 $F_{xn}$ と定義される。

【0053】上記のように、本発明の画像表示装置のリレー光学系部分を、画像表示素子から射出された像光をプリズム内に入射させる第1面と、その第1面から入射した光束を反射させる第2面と、その第2面から反射された光束を反射させる第3面とを有し、第1面と第2面とを結ぶ光路と第3面からの反射光路とがプリズム内で交差するような偏心プリズムで構成する場合に、光学系全系のX方向のパワーの絶対値を $P_x$ 、Y方向のパワーの絶対値を $P_y$ とする。また、その偏心プリズムの各面を画像表示装置側からS1、S2、S3、S4（半透過反射面と凹反射曲面とを含んだ1個の偏心プリズムで構成する場合（実施例4）には、S4は存在しない。）とし、射出瞳中心を通過して画像表示素子の表示面の中心に到達する軸上主光線がS1～S4面と交わる位置でのそれらの面のパワーを $P_{xS1}$ 、 $P_{xS2}$ 、 $P_{xS3}$ 、 $P_{xS4}$ とすると、

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

ワーが負に強くなりすぎ、この面で発生する偏心収差を他の面で補正することができなくなる。また、上限の3.5を越えると、S3面のパワーが正に強くなりすぎ、この面で発生する偏心収差を他の面で補正すること



ができなくなる。

\* \* 【0055】さらに望ましくは、

$$-0.5 < P_x S_3 / P_x < 2.5 \quad \dots (1-1)$$

$$-1.5 < P_y S_3 / P_y < 2.5 \quad \dots (2-1)$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。これら ※る。

の条件式の上限及び下限の意味は上記条件式と同様であ※ 【0056】さらに望ましくは、

$$0.5 < P_x S_3 / P_x < 1.8 \quad \dots (1-2)$$

$$-0.5 < P_y S_3 / P_y < 1.5 \quad \dots (2-2)$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。これら ★る。

の条件式の上限及び下限の意味は上記条件式と同様であ★ 【0057】また、

$$-2.0 < P_x S_2 / P_x < 3.5 \quad \dots (3)$$

$$-1.5 < P_y S_2 / P_y < 4.5 \quad \dots (4)$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。

【0058】この条件式は、光学系全系におけるS2面でのパワーを規定する条件である。これらの条件式の下限の-2.0あるいは-1.5を越えると、S2面のパワーが負に強くなりすぎ、この面で発生する偏心収差を☆

☆他の面で補正することができなくなる。また、上限の3.5あるいは4.5を越えると、S2面のパワーが正に強くなりすぎ、この面で発生する偏心収差を他の面で補正することができなくなる。

【0059】さらに望ましくは、

$$-1.0 < P_x S_2 / P_x < 2.5 \quad \dots (3-1)$$

$$-0.5 < P_y S_2 / P_y < 3.5 \quad \dots (4-1)$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。これら ◆る。

の条件式の上限及び下限の意味は上記条件式と同様であ◆20 【0060】さらに望ましくは、

$$0.0 < P_x S_2 / P_x < 1.5 \quad \dots (3-2)$$

$$0.5 < P_y S_2 / P_y < 2.5 \quad \dots (4-2)$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。これらの条件式の上限及び下限の意味は上記条件式と同様である。

【0061】また、本発明の画像表示装置のリレー光学系部分を、画像表示素子から射出された像光をプリズム内に入射させる第1面と、その第1面から入射した光束を反射させる第2面と、その第2面から反射された光束\*

\*を反射させる第3面とを有し、第1面と第2面とを結ぶ光路と第3面からの反射光路とがプリズム内で交差するように構成され、半透過反射面と凹反射曲面とから独立した偏心プリズムで構成する場合（実施例1～3）に、その偏心プリズムのX方向のパワーをを $P_x HP$ 、Y方向のパワーを $P_y HP$ とすると、

$$-1.5 < P_x S_3 / P_x HP < 3.0 \quad \dots (5)$$

$$-3.0 < P_y S_3 / P_y HP < 2.5 \quad \dots (6)$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。

【0062】これらの条件式は、画像表示素子側の偏心プリズムにおけるS3面でのパワーを規定する条件である。これらの条件式の下限の-1.5あるいは-3.0を越えると、S3面のパワーが負に強くなりすぎ、この※

※面で発生する偏心収差を他の面で補正することができなくなる。また、上限の3.0あるいは2.5を越えると、S3面のパワーが正に強くなりすぎ、この面で発生する偏心収差を他の面で補正することができなくなる。

【0063】さらに望ましくは、

$$-0.5 < P_x S_3 / P_x HP < 2.0 \quad \dots (5-1)$$

$$-2.0 < P_y S_3 / P_y HP < 1.5 \quad \dots (6-1)$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。これら ★る。

の条件式の上限及び下限の意味は上記条件式と同様であ★40 【0064】さらに望ましくは、

$$0.5 < P_x S_3 / P_x HP < 1.0 \quad \dots (5-2)$$

$$-1.0 < P_y S_3 / P_y HP < 0.5 \quad \dots (6-2)$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。これら ☆る。

の条件式の上限及び下限の意味は上記条件式と同様であ☆ 【0065】また、

$$-2.0 < P_x S_2 / P_x HP < 2.5 \quad \dots (7)$$

$$-2.0 < P_y S_2 / P_y HP < 4.0 \quad \dots (8)$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。この条件式は、画像表示素子側の偏心プリズムにおけるS2面でのパワーを規定する条件である。これらの条件式の下限の-2.0を越えると、S2面のパワーが負に強くな

りすぎ、この面で発生する偏心収差を他の面で補正することができなくなる。また、上限の2.5あるいは4.0を越えると、S2面のパワーが正に強くなりすぎ、この面で発生する偏心収差を他の面で補正することができ

なくなる。

$$\begin{aligned} & * \quad * \quad [0066] \text{ さらに望ましくは、} \\ & -1.0 < P_x S2 / P_x HP < 1.5 \quad \dots (7-1) \\ & -1.0 < P_y S2 / P_y HP < 3.0 \quad \dots (8-1) \end{aligned}$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。これら ※る。

の条件式の上限及び下限の意味は上記条件式と同様であ※ 【0067】 さらに望ましくは、

$$\begin{aligned} & 0.0 < P_x S2 / P_x HP < 0.8 \quad \dots (7-2) \\ & 0.0 < P_y S2 / P_y HP < 2.0 \quad \dots (8-2) \end{aligned}$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。これら  
の条件式の上限及び下限の意味は上記条件式と同様である。

#### 【0068】

【発明の実施の形態】次に、まず、本発明の具体的な数値実施例1～4について説明する。後述する各実施例の構成パラメータにおいては、図1に示すように、逆光線追跡で、軸上主光線2を、接眼光学系の射出瞳1の中心を通り、像面（画像表示素子）3中心に到る光線で定義する。そして、軸上主光線2と接眼光学系5の射出瞳1に面する入射面（順光線追跡では射出面。具体的には、実施例1、2においては、半透過鏡7の射出瞳1に面する側の面、実施例3においては、プリズム20の射出面23、実施例4においては、プリズム10の射出面15）、リレー光学系4の画像表示素子3に面する射出面（順光線追跡では入射面。実施例1～3においては、第1プリズム10の第1面11、実施例4においては、プリズム10の第1面11）、リレー光学系4を構成するプリズムの入射面（順光線追跡では射出面。実施例1～3においては、第1プリズム10の第4面14、実施例4においては、プリズム中の半透過反射面9の位置）との交点を通り、入射面についてはその面に入射する軸上主光線1に垂直に、射出面についてはその面から射出する軸上主光線1に垂直に、それぞれ仮想面をとる。各仮想面の交点を、その交点を通る光学面から次の仮想面（最後の仮想面について像面）までの間の偏心光学面の原点として、入射面の交点について定められた仮想面の場合は、入射する軸上主光線1、射出面の交点について定められた仮想面の場合は、射出する軸上主光線1に沿う方向をZ軸方向とし、軸上主光線1の進行方向に沿った方向をZ軸正方向とし、このZ軸と像面中心を含む平面をY-Z平面とし、原点を通りY-Z平面に直交し、紙面の手前から裏面側に向かう方向をX軸正方向とし、X軸、Z軸と右手直交座標系を構成する軸をY軸とする。図1には、各仮想面と、半透過鏡7の射出瞳1に面する側の面の交点について定められた第1仮想面に関する★

$$\begin{aligned} x &= R \times \cos(A) \\ y &= R \times \sin(A) \\ Z &= D_2 \\ &+ D_3 R \cos(A) + D_4 R \sin(A) \\ &+ D_5 R^2 \cos(2A) + D_6 (R^2 - 1) + D_7 R^2 \sin(2A) \\ &+ D_8 R^3 \cos(3A) + D_9 (3R^3 - 2R) \cos(A) \\ &+ D_{10} (3R^3 - 2R) \sin(A) + D_{11} R^3 \sin(3A) \end{aligned}$$

\* \* 【0066】 さらに望ましくは、

$$\begin{aligned} & -1.0 < P_x S2 / P_x HP < 1.5 \quad \dots (7-1) \\ & -1.0 < P_y S2 / P_y HP < 3.0 \quad \dots (8-1) \end{aligned}$$

の何れかの条件式を満足することが重要である。これら ※る。

の条件式の上限及び下限の意味は上記条件式と同様であ※ 【0067】 さらに望ましくは、

$$\begin{aligned} & 0.0 < P_x S2 / P_x HP < 0.8 \quad \dots (7-2) \\ & 0.0 < P_y S2 / P_y HP < 2.0 \quad \dots (8-2) \end{aligned}$$

★る座標系とを图示してある。実施例2～4を示すそれぞれ図2～図4については、これら仮想面と座標系の图示は省く。

【0069】実施例1～4では、このY-Z平面内で各面の偏心を行っており、また、各回転非対称自由曲面の唯一の対称面をY-Z面としている。

【0070】偏心面については、対応する座標系の原点から、その面の面頂位置の偏心量（X軸方向、Y軸方向、Z軸方向をそれぞれX、Y、Z）と、その面の中心軸（自由曲面については、前記（a）式のZ軸）のX軸、Y軸、Z軸それぞれを中心とする傾き角（それぞれ $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ （°））とが与えられている。なお、その場合、 $\alpha$ と $\beta$ の正はそれぞれの軸の正方向に対して反時計回りを、 $\gamma$ の正はZ軸の正方向に対して時計回りを意味する。

【0071】また、各実施例の光学系を構成する光学作用面の中、特定の面（仮想面を含む。）とそれに続く面が共軸光学系を構成する場合に、面間隔が与えられており、その他、媒質の屈折率、アッペ数が慣用法に従って与えられている。

【0072】また、本発明で用いられる自由曲面の面の形状は前記（a）式により定義し、その定義式のZ軸が自由曲面の軸となる。

【0073】なお、データの記載されていない自由曲面に関する項は0である。屈折率については、d線（波長587.56nm）に対するものを表記してある。長さの単位はmmである。

【0074】また、自由曲面の他の定義式として、以下の（b）式で与えられるZernike多項式がある。この面の形状は以下の式により定義する。その定義式のZ軸がZernike多項式の軸となる。回転非対称面の定義は、X-Y面に対するZの軸の高さの極座標で定義され、AはX-Y面内のZ軸からの距離、RはZ軸回りの方角で、Z軸から測った回転角で表せられる。

【0075】

$$\begin{aligned}
& +D_{12} R^4 \cos(4A) + D_{13} (4R^4 - 3R^2) \cos(2A) \\
& + D_{14} (6R^4 - 6R^2 + 1) + D_{15} (4R^4 - 3R^2) \sin(2A) \\
& + D_{16} R^4 \sin(4A) \\
& + D_{17} R^5 \cos(5A) + D_{18} (5R^5 - 4R^3) \cos(3A) \\
& + D_{19} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \cos(A) \\
& + D_{20} (10R^5 - 12R^3 + 3R) \sin(A) \\
& + D_{21} (5R^5 - 4R^3) \sin(3A) + D_{22} R^5 \sin(5A) \\
& + D_{23} R^6 \cos(6A) + D_{24} (6R^6 - 5R^4) \cos(4A) \\
& + D_{25} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \cos(2A) \\
& + D_{26} (20R^6 - 30R^4 + 12R^2 - 1) \\
& + D_{27} (15R^6 - 20R^4 + 6R^2) \sin(2A) \\
& + D_{28} (6R^6 - 5R^4) \sin(4A) + D_{29} R^6 \sin(6A) \dots \dots \dots (b)
\end{aligned}$$

なお、X軸方向に対称な光学系として設計するには、 $D_4, D_5, D_6, D_{10}, D_{11}, D_{12}, D_{13}, D_{14}, D_{20}, D_{21}, D_{22} \dots$ を利用する。

【0076】その他の面の例として、次の定義式 (d) \*

$$\begin{aligned}
Z = C_2 & + C_3 y + C_4 |x| \\
& + C_5 y^2 + C_6 y |x| + C_7 x^2 \\
& + C_8 y^3 + C_9 y^2 |x| + C_{10} y x^2 + C_{11} |x^3| \\
& + C_{12} y^4 + C_{13} y^3 |x| + C_{14} y^2 x^2 + C_{15} y |x^3| + C_{16} x^4 \\
& + C_{17} y^5 + C_{18} y^4 |x| + C_{19} y^3 x^2 + C_{20} y^2 |x^3| \\
& + C_{21} y x^4 + C_{22} |x^5| \\
& + C_{23} y^6 + C_{24} y^5 |x| + C_{25} y^4 x^2 + C_{26} y^3 |x^3| \\
& + C_{27} y^2 x^4 + C_{28} y |x^5| + C_{29} x^6 \\
& + C_{30} y^7 + C_{31} y^6 |x| + C_{32} y^5 x^2 + C_{33} y^4 |x^3| \\
& + C_{34} y^3 x^4 + C_{35} y^2 |x^5| + C_{36} y x^6 + C_{37} |x^7| \dots \dots \dots (c)
\end{aligned}$$

なお、本発明の実施例では、前記 (a) 式を用いた自由曲面で面形状が表現されているが、上記 (b) 式、

(c) 式を用いても同様の作用効果を得られるのは言うまでもない。

【0077】実施例 1～4 の光軸を含む Y-X 断面図をそれぞれ図 1～図 4 に示す。実施例 1～4 は全て水平面角  $30^\circ$  で、0.47 インチの LCD を想定しており、また、画像表示素子 3 側に、第 1 面 11 と、第 1 面 11 から入射した光束を反射させる第 2 面 12 と、第 2 面 12 から反射された光束を反射させる第 3 面 13 とを備え、第 1 面 11 と第 2 面 12 とを結ぶ光路と第 3 面 13 からの反射光路とがプリズム内で交差するような光学面を有するプリズム 10 を用いており、これら第 1 面 11～第 3 面 13 に面对称自由曲面を用いている。

【0078】実施例 1 の画像表示装置は、図 1 に示すように、リレー光学系 4 を構成する第 1 プリズム 10 と接眼光学系 5 とからなり、第 1 プリズム 10 は 4 つの光学面 11～14 からなり、その 4 つの面 11～14 の間が屈折率が 1 より大きい透明媒質で埋められている。また、接眼光学系 5 は半透過反射面 9 を有する半透過鏡 7 と凹面鏡 8 とからなる。逆光線追跡で、射出瞳 1 を通る

\* があげられる。

$$Z = \sum \sum C_{mn} X^m Y^n$$

例として、 $k=7$  (7 次項) を考えると、展開したとき、以下の式で表せる。

軸上主光線 2 は、接眼光学系 5 の半透過鏡 7 の半透過反射面 9 とは反対側の平面から入射して半透過鏡 7 を通過し、凹面鏡 8 で反対側に反射され、今度は半透過鏡 7 の半透過反射面 9 で反射され、次に第 1 プリズム 10 の透過面である第 4 面 14 に入射して第 1 プリズム 10 内に入り、反射面である第 3 面 13 で反射され、次に反射面の第 2 面 12 で反射され、その反射光線は透過作用のみを有する第 1 面 11 を透過して第 1 プリズム 10 から射出して、像面の位置に配置された画像表示素子 3 の表示面に到達して結像する。そして、半透過鏡 7 の半透過反射面 9 と第 1 プリズム 10 の第 4 面 14 との間に湾曲した中間像面 6 が形成されている。

【0079】実際には画像表示素子 3 から射出された表示光は上記の光路を逆に辿り、射出瞳 1 の位置に瞳が位置する観察者の眼球内に拡大投影される。なお、画像表示素子 3 として透過型 LCD を用いても反射型 LCD を用いてもよいが、反射型 LCD を用いる場合は、第 1 プリズム 10 の第 2 面 12 あるいは第 3 面 13 を半透過反射面として、それらの面の前方に配置された光源 25 からの光をその半透過反射面を経て第 1 プリズム 10 内に入れ、第 2 面 12 で反射させて (図示のように、第 2 面

12から入射させる場合はそのまま)、第1面11から射出させてその反射型LCDを照明するようにすることが望ましい。以下の実施例でも同様である。また、この実施例では、凹面鏡8を半透過反射面とすることにより外界のシースルーが可能になる。

【0080】この実施例の凹面鏡8は球面鏡であり、全光学系のX方向の焦点距離は17.15mm、Y方向の焦点距離は17.79mmであり、瞳径はφ4.0mmである。

【0081】実施例2の画像表示装置は、図2に示すように、リレー光学系4を構成する第1プリズム10と接眼光学系5とからなり、第1プリズム10は4つの光学面11～14からなり、その4つの面11～14の間が屈折率が1より大きい透明媒質で埋められている。また、接眼光学系5は半透過反射面9を有する半透過鏡7と凹面鏡8とからなる。逆光線追跡で、射出瞳1を通る軸上主光線2は、接眼光学系5の半透過鏡7の半透過反射面9側から入射して半透過鏡7で反射され、凹面鏡8で反対側に反射され、今度は半透過鏡7を通過し、次に第1プリズム10の透過面である第4面14に入射して第1プリズム10内に入り、反射面である第3面13で反射され、次に反射面の第2面12で反射され、その反射光線は透過作用のみを有する第1面11を透過して第1プリズム10から射出して、像面の位置に配置された画像表示素子3の表示面に到達して結像する。この実施例の場合は、第1プリズム10中の第4面14と第3面13の間に湾曲した中間像面6が形成されている。

【0082】実際には画像表示素子3から射出された表示光は上記の光路を逆に辿り、射出瞳1の位置に瞳が位置する観察者の眼球内に拡大投影される。この実施例の場合は、射出瞳1前方に半透過反射面9しかないので、このままで外界のシースルーが可能になる。

【0083】この実施例の凹面鏡8は自由曲面形状の曲面鏡であり、全光学系のX方向の焦点距離は17.30mm、Y方向の焦点距離は17.33mmであり、瞳径はφ4.0mmである。

【0084】実施例3の画像表示装置は、図3に示すように、リレー光学系4を構成する第1プリズム10と接眼光学系5を構成する第2プリズム20とからなり、第1プリズム10は4つの光学面11～14からなり、その4つの面11～14の間が屈折率が1より大きい透明媒質で埋められている。第2プリズム20は、プリズム中に配置された半透過反射面9と、裏面鏡として構成された凹面鏡22(8)と、入射面21と、射出面23とからなる。逆光線追跡で、射出瞳1を通る軸上主光線2は、第2プリズム20の射出面23からプリズム内に入\*

#### 実施例1

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	∞	-1000.00			
1	∞ (瞳面)	32.00			

\*射して半透過反射面9で反射され、凹面鏡22(8)で反対側に反射され、今度は半透過反射面9を通過し、入射面21からプリズム外に射出し、次に第1プリズム10の透過面である第4面14に入射して第1プリズム10内に入り、反射面である第3面13で反射され、次に反射面の第2面12で反射され、その反射光線は透過作用のみを有する第1面11を透過して第1プリズム10から射出して、像面の位置に配置された画像表示素子3の表示面に到達して結像する。この実施例の場合は、第2プリズム20中の入射面21近傍に湾曲した中間像面6が形成されている。

【0085】実際には画像表示素子3から射出された表示光は上記の光路を逆に辿り、射出瞳1の位置に瞳が位置する観察者の眼球内に拡大投影される。この実施例の第2プリズム20の入射面21、凹面鏡22(8)は球面で構成されており、全光学系のX方向の焦点距離は18.76mm、Y方向の焦点距離は18.41mmであり、瞳径はφ4.0mmである。

【0086】実施例4の画像表示装置は、図4に示すように、リレー光学系4と接眼光学系5は1つのプリズム10で構成されており、そのプリズム10は5つの光学面11～15とプリズム10中に配置された半透過反射面9とからなり、その5つの面11～15の間が屈折率が1より大きい透明媒質で埋められている。逆光線追跡で、射出瞳1を通る軸上主光線2は、プリズム10の第5面15からプリズム内に入り、半透過反射面9で反射され、次に第4面14が構成する凹面鏡8で反対側に反射され、今度は半透過反射面9を通過し、次に反射面である第3面13で反射され、次に反射面の第2面12で反射され、その反射光線は透過作用のみを有する第1面11を透過して第1プリズム10から射出して、像面の位置に配置された画像表示素子3の表示面に到達して結像する。この実施例の場合は、半透過反射面9と第3面13の間のプリズム中に湾曲した中間像面6が形成されている。

【0087】実際には画像表示素子3から射出された表示光は上記の光路を逆に辿り、射出瞳1の位置に瞳が位置する観察者の眼球内に拡大投影される。この実施例の第1面11～第4面14は自由曲面で構成されており、全光学系のX方向の焦点距離は17.79mm、Y方向の焦点距離は18.18mmであり、瞳径はφ4.0mmである。

【0088】以下に上記実施例1～4の構成パラメータを示す。これら表中の“FFS”は自由曲面、“HRP”は仮想面、“RS”は反射面を示す。

#### 【0089】

19		20	
2	$\infty$ (HRP 1)		
3	$\infty$	偏心(1)	1.4922 57.5
4	$\infty$	偏心(2)	
5	-48.16 (RS)	偏心(3)	
6	$\infty$ (RS)	偏心(2)	
7	$\infty$ (HRP 2)	偏心(4)	
8	FFS ①	偏心(5)	1.4922 57.5
9	FFS ② (RS)	偏心(6)	1.4922 57.5
10	FFS ③ (RS)	偏心(7)	1.4922 57.5
11	FFS ④	偏心(8)	
12	$\infty$ (HRP 3) 8.46	偏心(9)	
像 面 $\infty$			
FFS ①			
C <sub>4</sub>	$1.1235 \times 10^{-2}$	C <sub>5</sub>	$5.2235 \times 10^{-2}$
C <sub>10</sub>	$3.1015 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$1.0181 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$-2.9591 \times 10^{-5}$	C <sub>8</sub>	$-4.9368 \times 10^{-3}$
		C <sub>13</sub>	$3.0334 \times 10^{-5}$
FFS ②			
C <sub>4</sub>	$-7.0629 \times 10^{-3}$	C <sub>5</sub>	$5.9878 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$1.5230 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$3.3560 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$2.0974 \times 10^{-4}$	C <sub>8</sub>	$-1.2169 \times 10^{-3}$
		C <sub>13</sub>	$-8.2285 \times 10^{-5}$
FFS ③			
C <sub>4</sub>	$8.1996 \times 10^{-3}$	C <sub>5</sub>	$1.4581 \times 10^{-2}$
C <sub>10</sub>	$5.4462 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-4.4237 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$1.4762 \times 10^{-5}$	C <sub>8</sub>	$-8.8947 \times 10^{-4}$
		C <sub>13</sub>	$-9.5349 \times 10^{-6}$
FFS ④			
C <sub>4</sub>	$-5.4275 \times 10^{-2}$	C <sub>5</sub>	$-2.8406 \times 10^{-2}$
C <sub>10</sub>	$4.1841 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$1.2388 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$3.3460 \times 10^{-4}$	C <sub>8</sub>	$-6.3344 \times 10^{-3}$
		C <sub>13</sub>	$2.2282 \times 10^{-4}$
偏心(1)			
X	0.00	Y	0.00
$\alpha$	45.00	$\beta$	0.00
偏心(2)			
X	0.00	Y	0.49
$\alpha$	45.00	$\beta$	0.00
偏心(3)			
X	0.00	Y	0.49
$\alpha$	0.00	$\beta$	0.00
偏心(4)			
X	0.00	Y	21.19
$\alpha$	90.00	$\beta$	0.00
偏心(5)			
X	0.00	Y	0.00
$\alpha$	0.00	$\beta$	0.00
偏心(6)			
X	0.00	Y	0.00
$\alpha$	-20.75	$\beta$	0.00
偏心(7)			
X	0.00	Y	7.10
$\alpha$	-61.49	$\beta$	0.00
偏心(8)			

21					
X	0.00	Y	-7.48	Z	7.73
$\alpha$	-83.04	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	-7.48	Z	7.73
$\alpha$	-80.73	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0090】

## 実施例 2

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (瞳面)	32.00			
2	$\infty$ (HRP 1)				
3	$\infty$ (RS)		偏心(1)		
4	FFS <sup>①</sup> (RS)		偏心(2)		
5	$\infty$		偏心(1)	1.4922	57.5
6	$\infty$		偏心(3)		
7	$\infty$ (HRP 2)		偏心(4)		
8	FFS <sup>②</sup>		偏心(5)	1.4922	57.5
9	FFS <sup>③</sup> (RS)		偏心(6)	1.4922	57.5
10	FFS <sup>④</sup> (RS)		偏心(7)	1.4922	57.5
11	FFS <sup>⑤</sup>		偏心(8)		
12	$\infty$ (HRP 3)	4.37	偏心(9)		
像 面	$\infty$				
FFS <sup>①</sup>					
C <sub>4</sub>	$1.2949 \times 10^{-2}$	C <sub>5</sub>	$8.7943 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-2.8166 \times 10^{-5}$
C <sub>11</sub>	$1.5791 \times 10^{-7}$	C <sub>13</sub>	$1.8422 \times 10^{-6}$	C <sub>15</sub>	$-1.1847 \times 10^{-6}$
FFS <sup>②</sup>					
C <sub>4</sub>	$4.8593 \times 10^{-3}$	C <sub>5</sub>	$3.8587 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-1.3058 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$9.3848 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$1.3998 \times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	$1.2985 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$1.4469 \times 10^{-4}$				
FFS <sup>③</sup>					
C <sub>4</sub>	$-1.0713 \times 10^{-2}$	C <sub>5</sub>	$9.4423 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$1.4411 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$7.5087 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$7.7474 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$5.1807 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$6.6119 \times 10^{-5}$				
FFS <sup>④</sup>					
C <sub>4</sub>	$1.0709 \times 10^{-2}$	C <sub>5</sub>	$2.0989 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-1.1792 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$1.1751 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$4.5784 \times 10^{-6}$	C <sub>13</sub>	$1.7026 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$2.1826 \times 10^{-5}$				
FFS <sup>⑤</sup>					
C <sub>4</sub>	$2.7360 \times 10^{-3}$	C <sub>5</sub>	$-5.3650 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-6.4859 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$-2.3854 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$-2.5665 \times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	$3.1764 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$-4.8135 \times 10^{-4}$				
偏心(1)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
$\alpha$	45.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(2)					
X	0.00	Y	-13.87	Z	0.00
$\alpha$	90.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(3)					
X	0.00	Y	1.63	Z	0.49
$\alpha$	45.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

23

24

偏心(4)					
X	0.00	Y	14.59	Z	0.49
$\alpha$	90.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(5)					
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
$\alpha$	0.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(6)					
X	0.00	Y	0.00	Z	14.74
$\alpha$	-24.87	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(7)					
X	0.00	Y	8.19	Z	7.81
$\alpha$	-71.75	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(8)					
X	0.00	Y	-7.97	Z	6.75
$\alpha$	-90.43	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
偏心(9)					
X	0.00	Y	-7.97	Z	6.75
$\alpha$	-95.39	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0091】

## 実施例3

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッペ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (瞳面)	22.00			
2	$\infty$ (HRP 1)				
3	$\infty$		偏心(1)	1.4922	57.5
4	$\infty$ (RS)		偏心(2)	1.4922	57.5
5	46.16		偏心(3)	1.4922	57.5
6	$\infty$		偏心(2)	1.4922	57.5
7	21.44		偏心(4)		
8	$\infty$ (HRP 2)		偏心(5)		
9	FFS①		偏心(6)	1.4922	57.5
10	FFS② (RS)		偏心(7)	1.4922	57.5
11	FFS③ (RS)		偏心(8)	1.4922	57.5
12	FFS④		偏心(9)		
13	$\infty$ (HRP 3)	3.75	偏心(10)		
像 面	$\infty$				
FFS①					
C <sub>4</sub>	$2.5605 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$6.9971 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$2.7542 \times 10^{-3}$
C <sub>10</sub>	$2.3554 \times 10^{-3}$	C <sub>11</sub>	$-1.0259 \times 10^{-4}$	C <sub>13</sub>	$4.0110 \times 10^{-4}$
C <sub>15</sub>	$-6.7103 \times 10^{-5}$				
FFS②					
C <sub>4</sub>	$-1.3050 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-9.2644 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$2.0857 \times 10^{-4}$
C <sub>10</sub>	$1.2339 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-1.0853 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$-5.7038 \times 10^{-6}$
C <sub>15</sub>	$1.4138 \times 10^{-5}$				
FFS③					
C <sub>4</sub>	$1.0040 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$8.1423 \times 10^{-3}$	C <sub>8</sub>	$-5.2562 \times 10^{-5}$
C <sub>10</sub>	$-1.1967 \times 10^{-4}$	C <sub>11</sub>	$-1.4043 \times 10^{-5}$	C <sub>13</sub>	$-1.0513 \times 10^{-5}$
C <sub>15</sub>	$-1.2592 \times 10^{-6}$				
FFS④					
C <sub>4</sub>	$2.0698 \times 10^{-2}$	C <sub>6</sub>	$-3.1565 \times 10^{-2}$	C <sub>8</sub>	$-1.4175 \times 10^{-3}$

	25				26
$C_{10}$	$1.6290 \times 10^{-3}$	$C_{11}$	$-4.0580 \times 10^{-5}$	$C_{13}$	$2.1474 \times 10^{-4}$
$C_{15}$	$-1.1738 \times 10^{-4}$				
	偏心(1)				
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
$\alpha$	0.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(2)				
X	0.00	Y	0.00	Z	10.00
$\alpha$	45.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(3)				
X	0.00	Y	-13.87	Z	10.00
$\alpha$	90.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(4)				
X	0.00	Y	9.50	Z	10.00
$\alpha$	90.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(5)				
X	0.00	Y	15.13	Z	10.00
$\alpha$	90.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(6)				
X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
$\alpha$	0.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(7)				
X	0.00	Y	0.00	Z	14.74
$\alpha$	-23.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(8)				
X	0.00	Y	7.71	Z	7.30
$\alpha$	-68.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(9)				
X	0.00	Y	-8.37	Z	7.30
$\alpha$	-76.67	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00
	偏心(10)				
X	0.00	Y	-8.37	Z	7.30
$\alpha$	-96.79	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0092】

## 実施例 4

面番号	曲率半径	面間隔	偏心	屈折率	アッベ数
物体面	$\infty$	-1000.00			
1	$\infty$ (瞳面)	22.00			
2	$\infty$ (HRP 1)				
3	$\infty$		偏心(1)	1.4922	57.5
4	$\infty$ (RS)		偏心(2)	1.4922	57.5
5	FFS① (RS)		偏心(3)	1.4922	57.5
6	$\infty$		偏心(2)	1.4922	57.5
7	$\infty$ (HRP 2)		偏心(4)	1.4922	57.5
8	FFS② (RS)		偏心(5)	1.4922	57.5
9	FFS③ (RS)		偏心(6)	1.4922	57.5
10	FFS④		偏心(7)		
11	$\infty$ (HRP 3)	6.27	偏心(8)		
像 面	$\infty$				
	FFS①				
$C_4$	$1.2759 \times 10^{-2}$	$C_6$	$8.6811 \times 10^{-3}$	$C_8$	$-2.3027 \times 10^{-5}$



27					
C <sub>10</sub>	4. 2348×10 <sup>-6</sup>	C <sub>11</sub>	4. 7429×10 <sup>-7</sup>	C <sub>13</sub>	3. 6744×10 <sup>-6</sup>
C <sub>15</sub>	-1. 9230×10 <sup>-6</sup>				
F F S ㉒					
C <sub>4</sub>	-1. 4396×10 <sup>-2</sup>	C <sub>6</sub>	3. 0583×10 <sup>-3</sup>	C <sub>8</sub>	2. 2655×10 <sup>-4</sup>
C <sub>10</sub>	3. 0158×10 <sup>-4</sup>	C <sub>11</sub>	1. 2388×10 <sup>-5</sup>	C <sub>13</sub>	-1. 5280×10 <sup>-5</sup>
C <sub>15</sub>	8. 0358×10 <sup>-5</sup>				
F F S ㉓					
C <sub>4</sub>	9. 8336×10 <sup>-3</sup>	C <sub>6</sub>	1. 8822×10 <sup>-2</sup>	C <sub>8</sub>	-4. 1156×10 <sup>-5</sup>
C <sub>10</sub>	1. 9563×10 <sup>-5</sup>	C <sub>11</sub>	3. 5163×10 <sup>-6</sup>	C <sub>13</sub>	-2. 7404×10 <sup>-6</sup>
C <sub>15</sub>	3. 0271×10 <sup>-5</sup>				
F F S ㉔					
C <sub>4</sub>	-1. 6959×10 <sup>-2</sup>	C <sub>6</sub>	-6. 1766×10 <sup>-2</sup>	C <sub>8</sub>	4. 1156×10 <sup>-4</sup>
C <sub>10</sub>	2. 5521×10 <sup>-4</sup>	C <sub>11</sub>	2. 0350×10 <sup>-6</sup>	C <sub>13</sub>	5. 3092×10 <sup>-4</sup>
C <sub>15</sub>	-1. 3544×10 <sup>-3</sup>				

## 偏心(1)

X	0.00	Y	0.00	Z	0.00
$\alpha$	0.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(2)

X	0.00	Y	0.00	Z	10.00
$\alpha$	45.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(3)

X	0.00	Y	-13.87	Z	10.00
$\alpha$	90.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(4)

X	0.00	Y	0.00	Z	10.00
$\alpha$	90.00	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(5)

X	0.00	Y	0.00	Z	24.13
$\alpha$	-23.10	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(6)

X	0.00	Y	7.74	Z	16.71
$\alpha$	-68.27	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(7)

X	0.00	Y	-9.69	Z	16.61
$\alpha$	-83.41	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

## 偏心(8)

X	0.00	Y	-9.69	Z	16.61
$\alpha$	-93.79	$\beta$	0.00	$\gamma$	0.00

【0093】次に、上記実施例1の横収差図を図5に示す。この横収差図において、括弧内に示された数字は、  
 (水平(X方向)画角、垂直(Y方向)画角)を表し、\* 40 【0094】次に上記実施例1～4の前記条件式(1)～(8)に関する値は次の通りである。

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4
(1)	0.7231	1.0890	1.4614	1.5291
(2)	-0.6359	-0.9768	1.0184	-0.3319
(3)	0.0215	1.0886	1.1243	1.0445
(4)	1.5486	2.1712	0.8950	2.0426
(5)	0.6546	0.6935	0.7362	—
(6)	-0.6940	-0.8133	0.1562	—
(7)	0.0194	0.6933	0.5664	—
(8)	1.6899	1.8078	0.1373	—

【0095】ところで、以上の実施例の本発明の画像表示装置の観察光学系のリレー光学系4としては、4つの光学面11～14からなり、その4つの面11～14の間が屈折率が1より大きい透明媒質で埋められており、画像表示素子3からの光束を入射させる第1面11と、第1面11から入射した光束を反射させる第2面12と、第2面12から反射された光束を反射させる第3面13と、第3面13から反射された光束を射出させる第4面14とを備え、第1面11と第2面12とを結ぶ光路と第3面13からの反射光路とがプリズム内で交差する偏心プリズム10を用いていたが（実施例4もこのようなプリズム10を接眼光学系5を構成するプリズムと一体にしていると言える。）、リレー光学系4としてはこのような光学系、偏心プリズムに限定されず、種々の偏心反射結像光学系を用いることができる。図6～図11にその例を示す。

【0096】図6の場合は、リレー光学系4として、偏心配置の凹面鏡10'を用いており、画像表示素子3からの光束をこの凹面鏡10'で反射させ、中間像面6に中間像を結像し、その後に接眼光学系5により射出瞳の位置に瞳が位置する観察者の眼球E内に画像表示素子3の表示像を拡大投影する。なお、図6においては、接眼光学系5の構成としては、図1のような半透過鏡7の前方に凹面鏡8を配置した構成のものを用いているが、実施例2～4のような凹面鏡8を観察者の眼球Eの視野外に配置する構成、半透過鏡7と凹面鏡8を一体にしてプリズム化した構成のものでもよい。以下、図7～図11のものにおいても同様である。

【0097】図7の場合は、リレー光学系4として、第1面11、第2面12、第3面13からなる偏心プリズム10を用いており、画像表示素子3からの光束をこのプリズム10の第1面11から入射させ、第2面12で反射させ、第3面13を経てプリズム外に出し、その後に接眼光学系5により射出瞳の位置に瞳が位置する観察者の眼球E内に画像表示素子3の表示像を拡大投影する。

【0098】図8の場合は、リレー光学系4として、第1面11、第2面12、第3面13からなる偏心プリズム10を用いており、画像表示素子3からの光束をこのプリズム10の第1面11から入射させ、第2面12で全反射させ、次に第3面13で反射させ、今度は第2面12を透過させてプリズム外に出し、その後に接眼光学系5により射出瞳の位置に瞳が位置する観察者の眼球E内に画像表示素子3の表示像を拡大投影する。

【0099】図9の場合は、リレー光学系4として、第1面11、第2面12、第3面13からなる偏心プリズム10を用いており、画像表示素子3からの光束をこのプリズム10の第1面11から入射させ、第2面12で反射させ、今度は第1面11で全反射させ、次に第3面13を経てプリズム外に出し、その後に接眼光学系5に

より射出瞳の位置に瞳が位置する観察者の眼球E内に画像表示素子3の表示像を拡大投影する。

【0100】図10の場合は、リレー光学系4として、第1面11、第2面12、第3面13、第4面14からなる偏心プリズム10を用いており、画像表示素子3からの光束をこのプリズム10の第1面11から入射させ、第2面12で反射させ、今度は第1面11で全反射させ、次に第3面13でZ字型の光路をなすように反射させ、次に第4面14を経てプリズム外に出し、その後に接眼光学系5により射出瞳の位置に瞳が位置する観察者の眼球E内に画像表示素子3の表示像を拡大投影する。

【0101】図11の場合は、リレー光学系4として、第1面11、第2面12、第3面13、第4面14からなる偏心プリズム10を用いており、画像表示素子3からの光束をこのプリズム10の第1面11から入射させ、第2面12で反射させ、第3面13でZ字型の光路をなすように反射させ、次に第4面14を経てプリズム外に出し、その後に接眼光学系5により射出瞳の位置に瞳が位置する観察者の眼球E内に画像表示素子3の表示像を拡大投影する。

【0102】ところで、図12に例示するように、接眼光学系5を、リレー光学系4からの光束が入射する入射面21と、プリズム中に配置された半透過反射面9と、その半透過反射面9の前方に配置された裏面鏡の半透過凹面鏡22（8）と、射出面23とからなる第2プリズム20で構成し、入射面21から入射した光束を半透過反射面9で反射させ、その後に半透過凹面鏡22（8）によって反射させ、その後半透過反射面9を透過させ、射出面23から射出させて画像表示素子の表示像を拡大表示すると共に、半透過凹面鏡22（8）から入射し、プリズム20を横断し、射出面23から射出した外界光によって外界をシースルー可能にする場合には、第2プリズム20の半透過凹面鏡22（8）と射出面23とを略同一の平行な曲面で構成することが望ましい。そのときには、これらの両面を通過する外界からの光束に加えられる歪曲収差発生量が、これらの面の有効面内における中心から1/3の径の領域において10%の範囲内となる。逆に言えば、これらの面の有効面内における中心から1/3の径の領域において歪曲収差発生量が10%の範囲内となるようにこれらの面の曲面形状を構成することが望ましい。

【0103】さて、以上に説明したような画像表示装置を1組用意し、片眼装着用に構成しても、また、そのような組を左右一対用意し、それらを眼幅距離だけ離して支持することにより、両眼装着用に構成してもよい。そのようにして、片眼あるいは両眼で観察できる据え付け型又はポータブル型の画像表示装置として構成することができる。

【0104】片眼に装着する構成にした場合に画像表示

10

20

30

40

50

装置を観察者頭部に装着した状態を図 13 に（この場合は、左眼に装着）、両眼に装着する構成にした場合の同様の状態を図 14 にそれぞれ示す。また、図 15 にその断面図を示す。本発明による観察光学系を図 15 の断面に示すように用いており（この場合は、実施例 4 のような形状の観察光学系を用いている。）、この観察光学系と反射型 LCD 3 とそれを照明する光源 25 とからなる表示装置本体部 31 を、図 13 の場合は観察者の顔面の左眼の前方に 1 組、図 14 の場合は観察者の顔面の両眼の前方に別々に 2 組保持されるよう支持部材が頭部を介して固定している。なお、接眼光学系の射出瞳 1 に面する射出面（図 15 の場合は第 5 面 15）を保護するために、図 15 に示すように、射出瞳とその射出面の間にカバー部材 26 が配置されている。このカバー部材 26 としては、平行平板、正レンズあるいは負レンズの何れを用いてもよい。

【0105】表示装置本体部 31 の支持部材としては、一端を表示装置本体部 31 に接合し、観察者のこめかみから耳の上部にかけて延在する左右の前フレーム 32 と、前フレーム 32 の他端に接合され、観察者の側頭部を渡るように延在する左右の後フレーム 33 とから（図 13 の場合）、あるいは、さらに、左右の後フレーム 33 の他端に挟まれるように自らの両端を一方づつ接合し、観察者の頭頂部を支持する頭頂フレーム 34 とから（図 14 の場合）構成されている。

【0106】また、前フレーム 32 における上記の後フレーム 33 との接合近傍には、弾性体からなり例えば金属板バネ等で構成されたリヤプレート 35 が接合されている。このリヤプレート 35 は、上記支持部材の一翼を担うリヤカバー 36 が観察者の後頭部から首のつけねにかかる部分で耳の後方に位置して支持可能となるように接合されている（図 14 の場合）。リヤプレート 35 又はリヤカバー 36 内に観察者の耳に対応する位置にスピーカー 39 が取り付けられている。

【0107】映像・音声信号等を外部から送信するためのケーブル 41 が表示装置本体部 31 から、頭頂フレーム 34（図 14 の場合）、後フレーム 33、前フレーム 32、リヤプレート 35 の内部を介してリヤプレート 35 あるいはリヤカバー 36 の後端部より外部に突出している。そして、このケーブル 41 はビデオ再生装置 40 に接続されている。なお、図中、40a はビデオ再生装置 40 のスイッチやボリューム調整部である。

【0108】なお、ケーブル 41 は先端をジャックして、既存のビデオデッキ等に取り付け可能としてもよい。さらに、TV 電波受信用チューナーに接続して TV 鑑賞用としてもよいし、コンピュータに接続してコンピュータグラフィックスの映像や、コンピュータからのメッセージ映像等を受信するようにしてもよい。また、邪魔なコードを排斥するために、アンテナを接続して外部からの信号を電波によって受信するようにしても構わな

い。

【0109】以上の本発明の画像表示装置は例えば次のように構成することができる。

〔1〕 画像表示素子と、前記画像表示素子により形成された画像を観察者眼球位置に導く観察光学系とを有する画像表示装置において、前記観察光学系が、少なくとも、前記画像表示素子から射出された光束に反射時にパワーを与える偏心曲面形状を有し、かつ、前記偏心曲面の反射によって発生する偏心収差を補正するような回転非対称な面形状を有した像源側反射面と、前記像源側反射面を反射した光束を透過又は反射するハーフミラーコーティングされた半透過反射面と、前記半透過反射面との間に折り返し光路を形成し前記半透過反射面側に凹面を向けた形状の凹反射曲面とを備え、前記像源側反射面と前記半透過反射面との間に前記画像表示素子の像を拡大した中間像を形成するように構成されていることを特徴とする画像表示装置。

【0110】〔2〕 前記観察光学系が、屈折率が 1 よりも大きい媒質を挟んだ第 1 面と第 2 面の少なくとも 2 つの面を有し、前記第 1 面が前記画像表示素子から射出された光束を前記媒質内に入射させる入射面にて構成され、前記第 2 面が前記像源側反射面として構成され、かつ、前記第 1 面と前記第 2 面とが前記中間像と前記画像表示素子との間に配置されていることを特徴とする上記 1 記載の画像表示装置。

【0111】〔3〕 前記第 1 面が前記第 2 面で発生する偏心収差の補正を助ける作用を持った回転非対称な曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記 2 記載の画像表示装置。

【0112】〔4〕 前記観察光学系が、前記第 1 面と前記第 2 面と共に前記屈折率が 1 よりも大きい媒質を挟んだ第 3 面を有し、前記第 3 面が少なくとも反射時に光束にパワーを与える曲面形状であって偏心収差を補正する回転非対称な面形状を有した反射面にて構成され、かつ、前記第 3 面が前記第 1 面と前記半透過反射面との間の光路上に配置されていることを特徴とする上記 2 又は 3 記載の画像表示装置。

【0113】〔5〕 前記観察光学系の半透過反射面と前記凹反射曲面とが、前記画像表示素子からの光束を前記半透過反射面を透過させ、その後前記凹反射曲面によって反射させ、その後前記半透過反射面によって光束を反射させるように構成されていることを特徴とする上記 1 から 4 の何れか 1 項記載の画像表示装置。

【0114】〔6〕 前記半透過反射面と前記凹反射曲面とが、前記画像表示素子からの光束を前記半透過反射面で反射させ、その後前記凹反射曲面によって反射させ、その後前記半透過反射面によって光束を透過させるように構成されていることを特徴とする上記 1 から 4 の何れか 1 項記載の画像表示装置。

【0115】〔7〕 前記凹反射曲面が前記観察光学系

全体で発生する偏心収差を補正する作用を持った回転非対称な曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記1から6の何れか1項記載の画像表示装置。

【0116】〔8〕前記凹反射曲面が、前記画像表示素子からの光束を反射すると共に、外界光を入射させる反射作用と透過作用とを兼用する面にて構成されていることを特徴とする上記6又は7記載の画像表示装置。

【0117】〔9〕前記凹反射曲面が、屈折率が1よりも大きい媒質を挟んだ略平行な2つの凹曲面間の薄肉部材にて構成され、前記外界光が前記凹反射曲面を介して入射する際に発生する収差を補正するように構成され構成されていることを特徴とする上記8記載の画像表示装置。

【0118】〔10〕前記凹反射曲面の2つの凹曲面間の薄肉部材の厚さは、0.1mm～6.0mmの範囲内にて構成されていることを特徴とする上記9記載の画像表示装置。

【0119】〔11〕前記凹反射曲面を通過する光束に加えられる歪曲収差発生量が、有効面内における中心から1/3の径の領域において10%の範囲内となるように、前記凹反射曲面の2つの凹曲面の形状が構成されていることを特徴とする上記9又は10記載の画像表示装置。

【0120】〔12〕前記観察光学系が、少なくとも前記第1面と前記第2面とを含んだ第1プリズムと、前記第1プリズムとは別体に配置された前記半透過反射面と、前記第1プリズムと前記半透過反射面と別体に配置された前記凹反射曲面とを有するように構成されていることを特徴とする上記2から11の何れか1項記載の画像表示装置。

【0121】〔13〕前記観察光学系が、少なくとも前記第1面と前記第2面とを含んだ第1プリズムと、前記半透過反射面と前記凹反射曲面とを少なくとも有する\*

$$-2.0 < P_x S_3 / P_x < 3.5 \quad \dots (1)$$

$$-2.5 < P_y S_3 / P_y < 3.5 \quad \dots (2)$$

の何れかの条件式を満足することを特徴とする上記12から17の何れか1項記載の画像表示装置。

【0127】〔19〕前記画像表示素子から射出された光束を前記媒質内に入射させる第1面と、前記第1面から入射した光束を反射させる第2面と、前記第2面から反射された光束を反射させる第3面とを有し、前記第1面と前記第2面とを結ぶ光路と前記第3面からの反射※

$$-2.0 < P_x S_2 / P_x < 3.5 \quad \dots (3)$$

$$-1.5 < P_y S_2 / P_y < 4.5 \quad \dots (4)$$

の何れかの条件式を満足することを特徴とする上記12から18の何れか1項記載の画像表示装置。

【0128】〔20〕前記画像表示素子から射出された光束を前記媒質内に入射させる第1面と、前記第1面から入射した光束を反射させる第2面と、前記第2面から反射された光束を反射させる第3面とを有し、前記第

\*第2プリズムとを有するように構成されていることを特徴とする上記2から11の何れか1項記載の画像表示装置。

【0122】〔14〕前記観察光学系が、少なくとも前記第1面と前記第2面と前記半透過反射面と前記凹反射曲面とを含んだプリズムにて構成されていることを特徴とする上記2から11の何れか1項記載の画像表示装置。

【0123】〔15〕前記半透過反射面が平面形状にて構成されていることを特徴とする上記1から14の何れか1項記載の画像表示装置。

【0124】〔16〕前記観察光学系の有する少なくとも1面の回転非対称な曲面が、対称面を1面のみ有する面对称自由曲面形状にて構成されていることを特徴とする上記1から15の何れか1項記載の画像表示装置。

【0125】〔17〕前記観察光学系と、前記観察光学系の光束を観察者眼球に導くために前記観察光学系を観察者頭部に保持できるように形成された支持部材とを有することを特徴とする上記1から16の何れか1項記載の画像表示装置。

【0126】〔18〕前記画像表示素子から射出された光束を前記媒質内に入射させる第1面と、前記第1面から入射した光束を反射させる第2面と、前記第2面から反射された光束を反射させる第3面とを有し、前記第1面と前記第2面とを結ぶ光路と前記第3面からの反射光路とが前記媒質内で交差するように構成されており、全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、光学系全系のX方向のパワーの絶対値を $P_x$ 、Y方向のパワーの絶対値を $P_y$ とし、前記第2面のパワーを $P_x S_2$ 、前記第3面のパワーを $P_x S_3$ とすると、

$$\dots (1)$$

$$\dots (2)$$

※光路とが前記媒質内で交差するように構成されており、全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、光学系全系のX方向のパワーの絶対値を $P_x$ 、Y方向のパワーの絶対値を $P_y$ とし、前記第2面のパワーを $P_x S_2$ 、前記第3面のパワーを $P_x S_3$ とすると、

$$\dots (3)$$

$$\dots (4)$$

1面と前記第2面とを結ぶ光路と前記第3面からの反射光路とが前記媒質内で交差するように構成されており、全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、光学系全系のX方向のパワーの絶対値を $P_x$ 、Y方向のパワーの絶対値を $P_y$ とし、前記第2面

のパワーを $P_x S_2$ 、前記第3面のパワーを $P_x S_3$ とし、前記第1プリズムのX方向のパワーを $P_x HP$ 、\*

\* Y方向のパワーを $P_y HP$ とすると、

$$-1. \quad 5 < P_x S_3 / P_x HP < 3.0 \quad \dots (5)$$

$$-3. \quad 0 < P_y S_3 / P_y HP < 2.5 \quad \dots (6)$$

の何れかの条件式を満足することを特徴とする上記1

2、13、15から19の何れか1項記載の画像表示装置。

【0129】〔21〕 前記画像表示素子から射出された光束を前記媒質内に入射させる第1面と、前記第1面から入射した光束を反射させる第2面と、前記第2面から反射された光束を反射させる第3面とを有し、前記第1面と前記第2面とを結ぶ光路と前記第3面からの反射※

$$-2. \quad 0 < P_x S_2 / P_x HP < 2.5 \quad \dots (7)$$

$$-2. \quad 0 < P_y S_2 / P_y HP < 4.0 \quad \dots (8)$$

の何れかの条件式を満足することを特徴とする上記1

2、13、15から20の何れか1項記載の画像表示装置。

【0130】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明によると、画像表示素子の中間像を形成するリレー光学系と半透過鏡と凹面鏡からなる接眼光学系とからなる画像表示装置において、リレー光学系部分に偏心光学系を用いて光路を折り曲げることにより光学系をさらにコンパクト化することができると共に、リレー光学系での中間像拡大率を大きくして接眼光学系の凹面鏡部分のパワーを小さく保ったまま広画角を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1の画像表示装置の光路図である。

【図2】本発明の実施例2の画像表示装置の光路図である。

【図3】本発明の実施例3の画像表示装置の光路図である。

【図4】本発明の実施例4の画像表示装置の光路図である。

【図5】実施例1の横収差図である。

【図6】本発明の画像表示装置のリレー光学系の1つの変形例を示す図である。

【図7】本発明の画像表示装置のリレー光学系の別の変形例を示す図である。

【図8】本発明の画像表示装置のリレー光学系の別の変形例を示す図である。

【図9】本発明の画像表示装置のリレー光学系の別の変形例を示す図である。

【図10】本発明の画像表示装置のリレー光学系の別の変形例を示す図である。

【図11】本発明の画像表示装置のリレー光学系の別の変形例を示す図である。

【図12】本発明の画像表示装置の接眼光学系の1形態における半透過凹面鏡と射出面の面形状を説明するため

※光路とが前記媒質内で交差するように構成されており、全光学系の偏心方向がY軸方向で、軸上主光線と平行な面をY-Z面とし、そのY-Z面と直交する方向をX方向とすると、光学系全系のX方向のパワーの絶対値を $P_x$ 、Y方向のパワーの絶対値を $P_y$ とし、前記第2面のパワーを $P_x S_2$ 、前記第3面のパワーを $P_x S_3$ とし、前記第1プリズムのX方向のパワーを $P_x HP$ 、Y方向のパワーを $P_y HP$ とすると、  
の図である。

【図13】本発明による頭部装着型で片眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着した状態を示す図である。

【図14】本発明による頭部装着型で両眼装着用の画像表示装置を観察者頭部に装着した状態を示す図である。

【図15】図13、図14の断面図である。

【図16】偏心した反射面により発生する像面湾曲を説明するための概念図である。

【図17】偏心した反射面により発生する非点収差を説明するための概念図である。

【図18】偏心した反射面により発生するコマ収差を説明するための概念図である。

【図19】偏心光学系及び光学面のパワーの定義を説明するための図である。

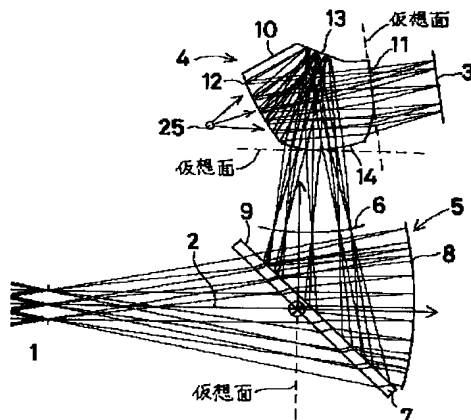
【符号の説明】

- 1…射出瞳
- 2…軸上主光線
- 3…像面（画像表示素子）
- 5…接眼光学系
- 4…リレー光学系
- 6…中間像面
- 7…半透過鏡
- 8…凹面鏡
- 9…半透過反射面
- 10…（第1）プリズム
- 10'…凹面鏡
- 11…第1面
- 12…第2面
- 13…第3面
- 14…第4面
- 15…第5面
- 20…第2プリズム
- 21…入射面
- 22…裏面鏡として構成した凹面鏡
- 23…第2プリズムの射出面
- 25…光源

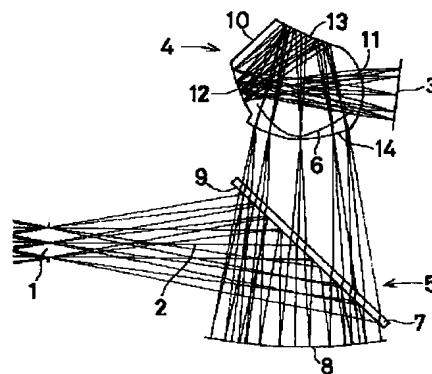
- 26…カバー部材  
 31…表示装置本体部  
 32…前フレーム  
 33…後フレーム  
 34…頭頂フレーム  
 35…リヤプレート  
 36…リヤカバー

- \* 39…スピーカー  
 41…ケーブル  
 40…ビデオ再生装置  
 40a…ボリューム調整部  
 M…凹面鏡  
 S…偏心光学系  
 \* E…観察者眼球

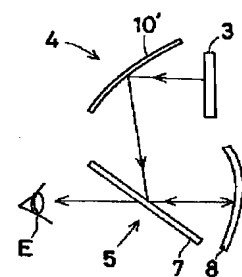
【図 1】



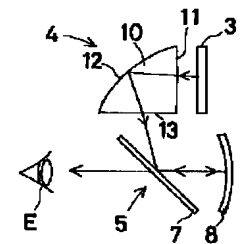
【図 2】



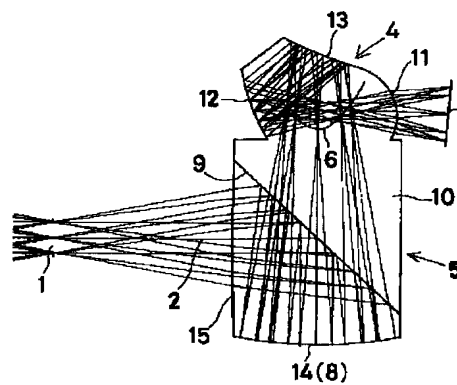
【図 6】



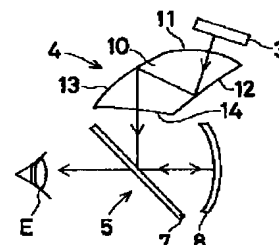
【図 7】



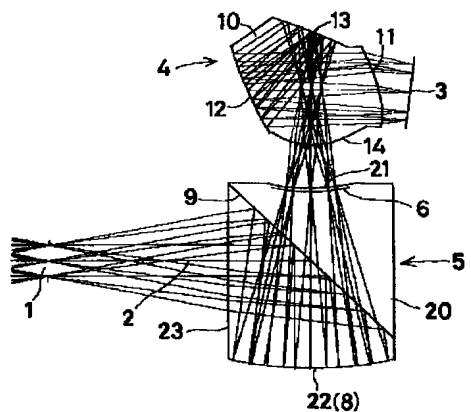
【図 4】



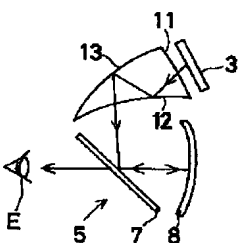
【図 11】



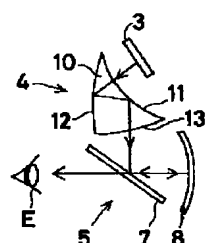
【図 3】



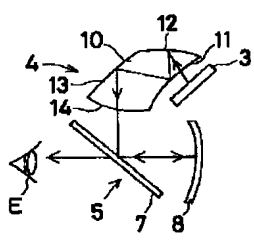
【図 8】



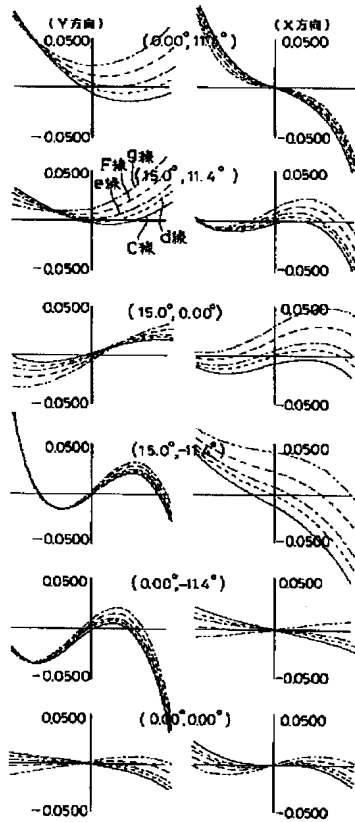
【図 9】



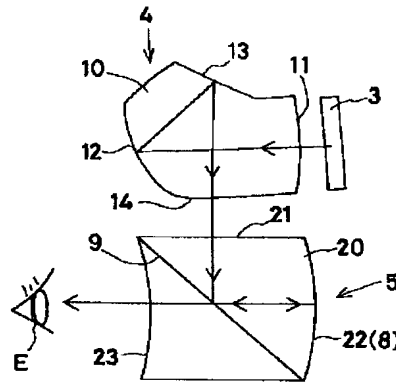
【図 10】



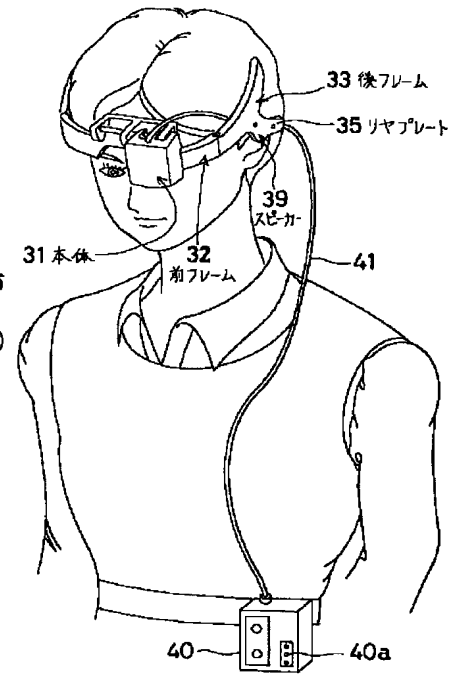
【図5】



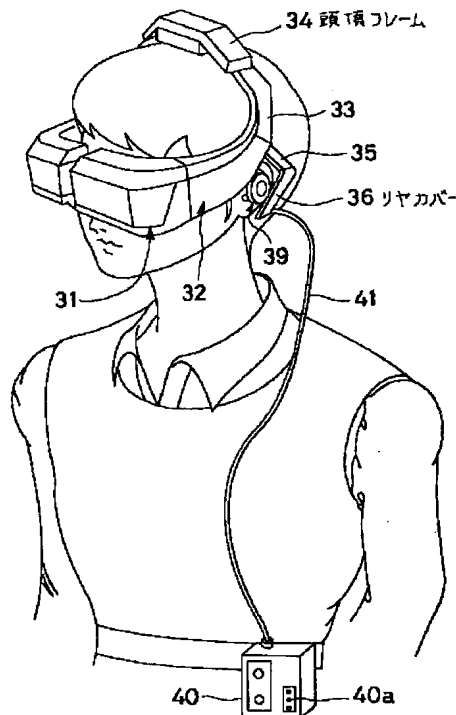
【図12】



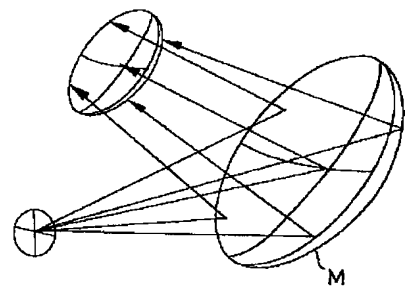
【図13】



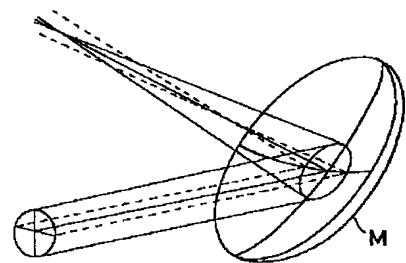
【図14】



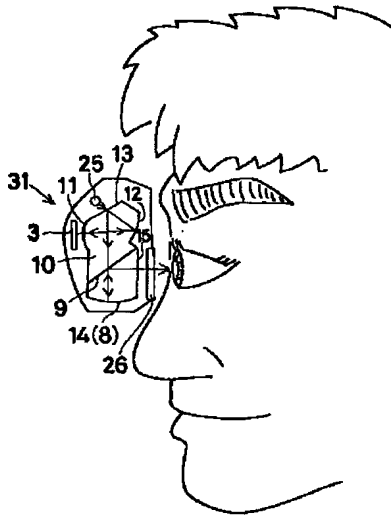
【図16】



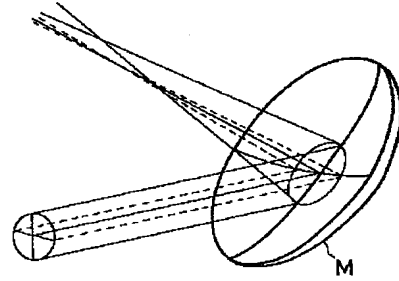
【図17】



【図15】



【図18】



【図19】

